

Магнитно-силовая микроскопия для исследования спин-поляризованных токовых эффектов в гетероэпитаксиальных ферромагнитных и антиферромагнитных структурах

Г.М. Михайлов, Л.А. Фомин, А.В. Черных

Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, 142432, Черногловка, Россия
mikhailo@iptm.ru

С помощью МСМ измерений были исследованы спин-поляризованные токовые эффекты в гетероэпитаксиальных ФМ и АФМ структурах.

Application of magnetic force microscopy for spin-polarized current effect investigation in heteroepitaxial ferro- and antiferromagnetic structures

G.M. Mikhailov, L.A. Fomin, A.V. Chernykh

Institute of microelectronics technology and high purity materials RAS, 142432, Chernogolovka, RF

The magnetic contrast and magnetoresistance of heteroepitaxial Fe(001)/Mo(001)/R-sapphire, Ni(111)/R-sapphire and Fe₅₀Mn₅₀/Fe/Mo/R-sapphire have been measured. Investigation has been made of the current and magnetic annealing effects on magnetic states of the structures supported by micromagnetic calculations.

Интерес к исследованию микроструктур из ферромагнитных (ФМ) и антиферромагнитных (АФМ) металлов связан с возможностью их применения в магнитоэлектронике, в частности, в качестве элементов магнитной памяти. В настоящее время большое внимание уделяется переключению магнитных состояний активных элементов в спиновых вентилях спин-поляризованным током. В надежде понизить уровень тока магнитного переключения в качестве активного элемента привлекает интерес использование АФМ [1]. Также привлекает внимание их использование для преобразования высокочастотных сигналов, а также в спин-инжекционных излучателях и приемниках электромагнитного излучения.

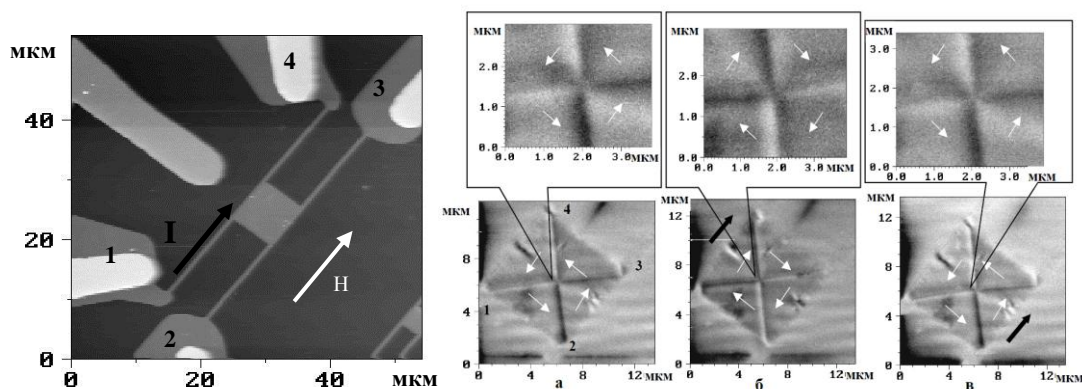


Рисунок 1. АСМ изображение микроструктуры Fe/R-sapphire с квадратом 8×8мкм (слева) и ее МСМ изображения (справа): а) начальное; б) после пропускания тока по контактам 1 - 4; в) после пропускания тока по контактам 2 - 3.

Нами были исследованы спин-поляризованные токовые эффекты в гетероэпитаксиальных ФМ и АФМ структурах. Впервые были изготовлены эпитаксиальные микроструктуры Fe/Mo/R-sapphire, Fe₅₀Mn₅₀/Fe/Mo/R-sapphire, а также метаматериалов, состоящих из неперкалрированных ФМ-островков Ni(111), покрытых сплошной АФМ-пленкой из FeMn. На Рис. 1 показан внешний вид и результаты МСМ измерений эпитаксиальной микроструктуры Fe (001), изготовленной из пленки, выращенной на R-плоскости сапфира с подслоем Mo, в форме квадрата с подводящими полосками из того же материала. Было обнаружено, что при пропускании через спин-

поляризованного тока плотностью больше или равной 10^8 А/см² во внешнем магнитном поле, направление намагниченности микроструктуры при выключении поля меняется на противоположное и определяется спиновой поляризацией и областью протекания тока.

Эпитаксиальные структуры с АФМ слоем Fe₅₀Mn₅₀/Fe/Mo/R-sapphire отжигались в вакууме при температуре, выше температуры Нееля во внешнем магнитном поле и затем охлаждались для формирования обменной анизотропии в АФМ, приводящей к эффекту обменного сдвига кривой гистерезиса. На Рис. 2 показаны MCM изображения микроструктур из многослойной пленки FeMn/Fe/Mo/R-sapphire, а также зависимости сопротивления макромостика из этой пленки от приложенного магнитного поля перпендикулярном и параллельном мостику полях. MCM измерения позволили интерпретировать магнитное состояние АФМ по магнитному контрасту ФМ. Они показали, что ось обменной анизотропии направлена вдоль магнитного поля, приложенного при отжиге структур. Значение обменного поля, найденное из измерений магнитосопротивления (Рис. 2в) составило около 25 Э, что близко к значению, полученному из MCM измерений во внешнем магнитном поле. Микромагнитные расчеты качественно подтвердили модель нескомпенсированной по спине поверхности АФМ.

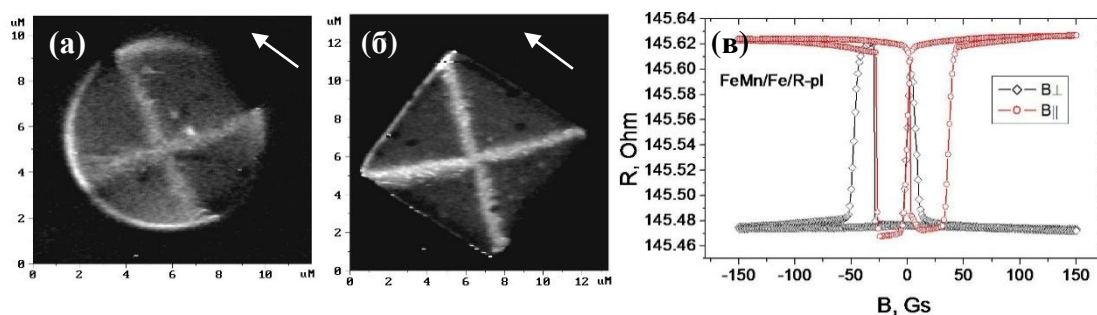


Рисунок 2. MCM изображения микроструктур FeMn/Fe/Mo/R-sapphire (а), (б) и зависимости сопротивления макромостика FeMn/Fe/Mo/R-sapphire от приложенного магнитного поля в перпендикулярном и параллельном мостику полях (в).

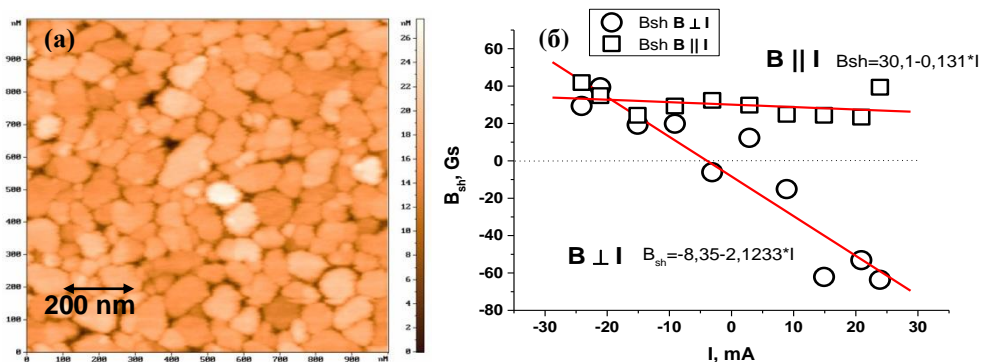


Рисунок 3. (а) АСМ изображение островкового метаматериала Ni/A-sapphire; (б) зависимость обменного сдвига от тока для поперечного и продольного магнитосопротивлений.

В микромостиках из метаматериалов Ni/FeMn обнаружены сильные токовые эффекты в анизотропном магнитосопротивлении по амплитуде и значениям полей перемангничивания. На Рис. 3 показаны АСМ изображение островков Ni(111) и зависимость обменного сдвига для метаматериала из этих островков, покрытых сплошной АФМ-пленкой из FeMn, от тока. Для продольного магнитосопротивления наблюдается близкая к постоянной зависимость обменного сдвига, а для поперечного - линейная зависимость от тока. Появление нечетной токовой зависимости может быть объяснено наведенного спин-поляризованным током встроенного обменного поля из-за передачи спиновой поляризации электронов проводимости магнитным подрешеткам АФМ.

1. А. Н. Macdonald, М. Tsoi, *Phil. Trans. R. Soc. A*, **369**, 3098 (2011).